



*Centre d'Etudes et d'Expérimentation  
en Mécanisation Agricole et Technologie alimentaire*

**CENTRE FRANCAIS DU RIZ**

**PROGRAMME MACHINISME AGRICOLE**

**SECHAGE ET CONSERVATION DU RIZ**

**TRAVAUX 1989**

**RAPPORT FINAL**

**JUIN 1990**

**J.F. CRUZ**

## I - OBJECTIFS

Le programme 1989 d'amélioration des techniques de séchage du riz avait un double objectif : d'une part réaliser une étude bibliographique des travaux actuellement menés dans le monde en matière de séchage et de conservation du riz et d'autre part effectuer une première approche concernant l'évaluation des techniques aujourd'hui employées en Camargue et notamment à la coopérative Sud Céréales d'Arles. Cette première phase devait enfin permettre de préparer le programme d'expérimentation pour l'année 1990.

## II - LES PARTENAIRES

Les différents partenaires concernés par le programme "séchage et conservation du riz" ont été :

- \* le CEEMAT/CIRAD : Centre d'Etudes et d'Expérimentation en Mécanisation Agricole et Technologie alimentaire  
(Mrs TROUDE, CRUZ, BERGERET, RIVIER, BOTZ)
- \* La FFCAC : Fédération Française des Coopératives Agricoles de Céréales (Mrs POICHOTTE et DESNOS)
- \* La Coopérative Sud Céréales (Mrs BIROT, MELQUION et FAGE)

## III - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES TRAVAUX SUR LE SECHAGE ET LA CONSERVATION DU RIZ

### 3.1. GENERALITES

Cette étude a été réalisée au CEEMAT durant l'été 1989 avec la collaboration d'un élève Ingénieur de l'ISIM (Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier). Elle a permis, par l'interrogation de différentes bases de données internationales (AGRIS, AGRICOLA, FSTA, CAO, PASCAL, CIDARC ) de sélectionner une cinquantaine d'articles récents. L'analyse de 600 différents documents a fait l'objet d'un rapport de synthèse annexé au présent rapport, dont nous pouvons rappeler les principaux points.

### 3.2 PRINCIPAUX PROCEDES DE SECHAGE.

Le séchage naturel bien qu'utilisé de façon traditionnelle dans de nombreuses régions du monde n'est pas abordé ici car il reste peu adapté aux climats tempérés et très souvent incompatible avec les contraintes imposées par les techniques post récolte de type industriel. Là où elle est développée, la récolte mécanisée des grains impose généralement l'emploi du séchage artificiel. Différentes techniques sont alors utilisées.

#### 3.2.1 Le séchage en cellule ou "*In bin drying*"

Le séchage est réalisé directement dans la cellule de stockage lorsque cette dernière est équipée d'un faux fond perforé pour la ventilation. Plusieurs pratiques sont mises en oeuvre. On distingue :

i) le procédé "*batch in bin*" où le séchage est réalisé en couche épaisse (5 à 6 m) en utilisant un air chaud de l'ordre de 45°C (43°C à 48°C) et des débits d'air d'environ 140 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> de grain. Le principal inconvénient de cette technique reste l'hétérogénéité de séchage obtenue et un risque de surséchage important.

ii) le procédé basse température ("*low temperature in bin drying*") ou à appoint thermique ("*supplemental heat in bin drying*") consiste à réchauffer légèrement l'air ambiant (de 3°C à 12°C) afin d'améliorer son pouvoir séchant. Cette technique présente généralement un bon bilan énergétique mais la vitesse de séchage reste faible (de 0,5 à 1 point/heure).

iii) le séchage à l'air ambiant ("*natural air in bin drying*") qui correspond à une simple ventilation séchante est un procédé qui a été largement vulgarisé aux USA au niveau des exploitations agricoles . On conseille généralement de ne

pas ventiler lorsque l'humidité de l'air ambiant est supérieure à 70 %. Les débits spécifiques habituellement utilisés sont :

30 à 60 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> de grain (Australie)

50 à 450 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> de grain (USA)

50 à 150 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> de grain (France)

Les débits varient en fonction de l'humidité initiale du riz qui dans la pratique ne devrait pas dépasser 25 %. Le principal risque rencontré est celui d'un développement fongique (moisissures) en partie supérieure des cellules ; risque qui peut être limité en diminuant les hauteurs de grains (4m) ou en utilisant des systèmes de brassage (équipement coûteux). Dans tous les cas, la mise en oeuvre de cette technique qui doit être sérieusement contrôlée, requiert un personnel qualifié. Pour pallier ces inconvénients, on cherche aujourd'hui à développer le pilotage automatique des installations.

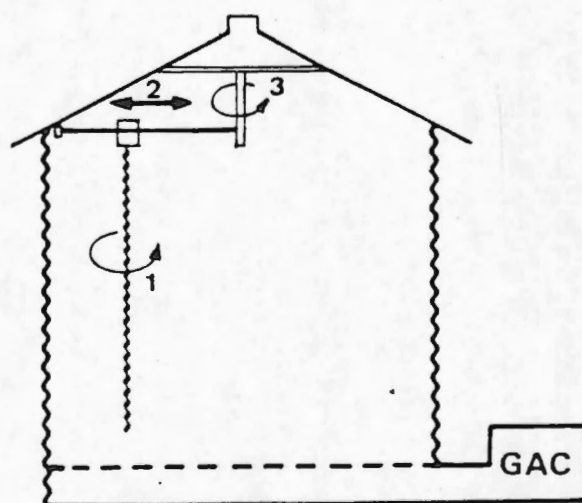


Figure n°1 : Schéma d'une cellule sécheuse



### 3.2.2. Le séchage continu ou à recirculation

#### i) Le séchage continu

On trouve en séchage continu des unités de très grosses capacité de traitement, indispensables pour sécher rapidement et indépendamment des conditions climatiques l'afflux de riz récolté mécaniquement et sur une courte période dans les pays hautement mécanisés. Ces unités sont le plus souvent détenues par des organismes de collecte : coopératives en Europe et aux USA, "country elevators" au Japon, etc.

Le riz descend verticalement dans des colonnes où il est mis en contact avec l'air de séchage. Différents systèmes permettent de réaliser l'opération. Les plus utilisés sont :

- colonne grillagée avec parfois un système de brassage (type "Turnflow", brevet Berico, USA) (CEA-Carterday, USA,...) figure n° 2
- Colonne à persienne ou "*baffles*" ("Omnium,...) fig n°3
- système à conduits d'air à section triangulaire, dièdres ou "*racks*", "*air channels*" (FAO,, Kongskilde, Schule...) figure n° 4.

Les paramètres de séchage rencontrés sont en général :

débits d'air :

1500 à 3000 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> pour des séchoirs à brassage  
4000 à 9000 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> pour des séchoirs sans brassage

températures :

de 30°C (FAO, séchoirs italiens) à  
90°C (Schule, Kongskilde, séchoirs américains)

puissances de séchage :

On peut trouver dans les documentations techniques des valeurs de 1400 à 2300 kg d'eau évaporée/h.

Il en résulte des vitesses de séchage assez importantes, comme par exemple 4,5 % M.C./h, valeur moyenne en Californie.

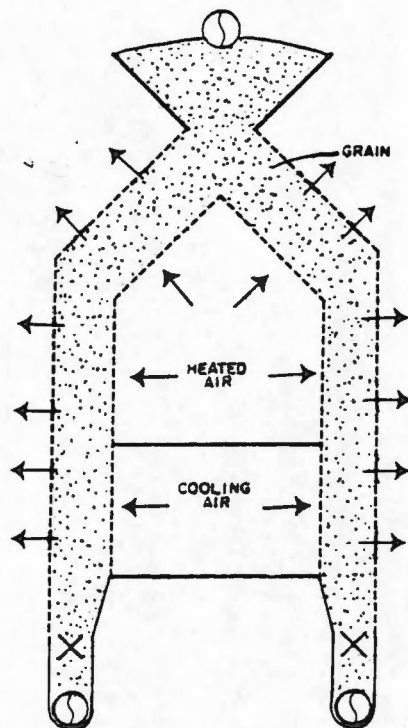


Figure n°2 : Séchoir à colonne grillagée

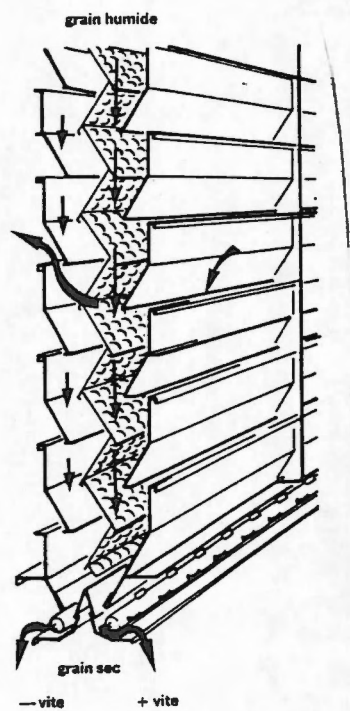


Figure n°3 : Séchoir à persiennes (OMNIUM)

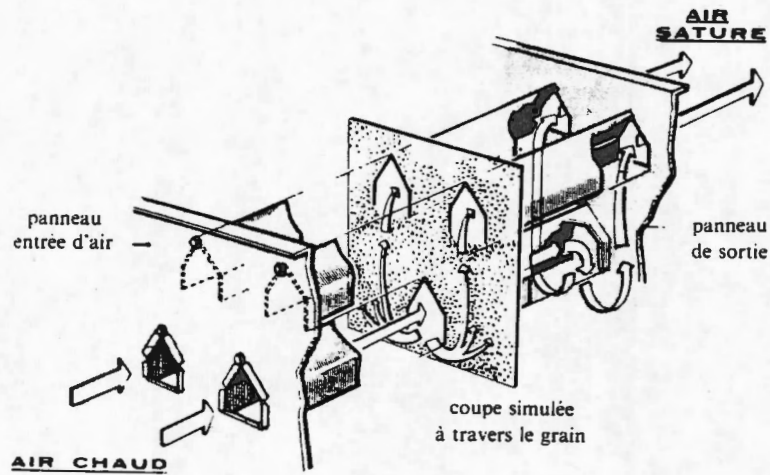


Figure n°4 : Séchoir à dièdres (LAW)

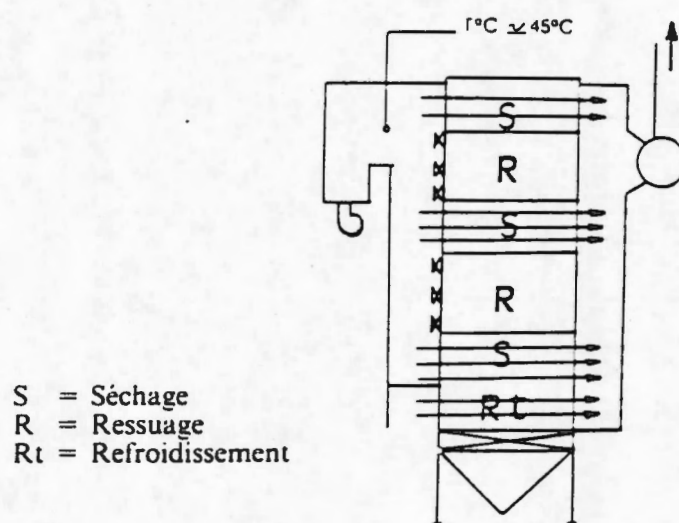


Figure n°5 : Séchoir à riz avec zone de ressuage (COMIA FAO)

## ii) Séchage à recirculation ou multipassage.

Les séchoirs à un seul passage doivent en un étape de chauffage éliminer assez d'eau du riz pour en assurer un stockage à l'humidité de sauvegarde. Pour des riz très humides ou pour des débits de riz très forts ( en période de récolte surtout), le séchage ne peut se faire qu'avec une grande vitesse d'évaporation de l'eau, pouvant entraîner des fissures (qui deviendront des brisures) et une baisse du rendement d'usinage.

Pour éviter d'épuiser ou de maltraiter le riz, il est possible d'exposer celui-ci à plusieurs stades de chauffage entrecoupés de stades de ressuage, où il pourra s'équilibrer en humidité. Les gradients d'humidité seront donc beaucoup moins prononcés qu'en un passage.

Pour des humidités et des paramètres de séchage égaux, en laboratoire un multipassage a donné en moyenne 4 % de brisures contre 20 % par séchage en un seul passage.

On peut même utiliser le temps de ressuage en ventilant la cellule prévue à cet effet (ou en envoyant de l'air dans les cases "ressuage" d'une colonne) ("supplemental drying with aération"). Le riz, en se refroidissant, descend à une humidité inférieure à celle d'équilibre thermodynamique avec l'air ventilé (equilibrium moisture content ; E.M.C.). La perte d'humidité peut aller jusqu'à 1 % si l'on descend le riz à température ambiante.

Cette alternance de chauffages et de temps de ressuage peut être obtenue par deux types de techniques, utilisant des matériels différents :

### *\* Séchage à recirculation*

Le riz passe plusieurs fois dans une colonne de séchage de dimension souvent moyenne à petite ; il tourne en boucle entre :

- la colonne de séchage
- un silo ou une cellule de ressuage

jusqu'à ce qu'il ait atteint une humidité assez basse.



Différents modèles de séchoirs sont proposés par FAO, Shizuoka Seiki, etc.

La flexibilité de ce type d'installations est un gros avantage pour des récoltes de riz d'humidité variée : on adapte le nombre de passage à l'humidité initiale du riz. Seul le temps de séchage (donc la capacité horaire) change.

On peut également modifier les paramètres de séchage d'un passage à l'autre, en fonction de l'évolution de l'humidité du riz, de manière automatique quelquefois (Japon) grâce à des mesures en continu, et des procédures informatisées.

Il faut tenir compte des nombreuses manutentions utilisées par cette technique, et qui peuvent entraîner des brisures.

Les paramètres de séchage habituellement rencontrés sont :

Aux USA :

- . chauffage de 15 à 20 min. (aux mêmes températures qu'en séchoir continu en général) pour une baisse de l'humidité du riz de 2% à 3% (w.b.)

- . entre 4h et 48h ou 6h à 24h de ressuage (bien que certains auteurs conseillent 3 heures ou encore seulement 1 heure

Au Japon :

- . chauffage pendant 20 min. avec perte de 1% à 2% d'humidité (w.b.) pendant les 5 premières minutes.

- . ressuage de 80 minutes environ.

90% des installations japonaises sont équipées de petits séchoirs à recirculation ; certains organismes de collecte à moyenne échelle en possèdent jusqu'à 10 qui fonctionnent en parallèle. Ils sont également utilisés pour le séchage du blé. La plupart des matériels est automatisée et pilotée par ordinateur.

**\* Séchage en un seul passage avec zones de ressuage**

La colonne de séchage est alors composée d'une alternance de cases de chauffage et de ressuage (éventuellement de refroidissement en fin de cycle). Les zones de ressuage ont un volume (et donc un temps de passage) de 3 à 7 fois celui des zones de chauffage (figure N°5, p 6).

Ce procédé, qui demande très peu de manutention du riz, est vraiment continu et possède une forte capacité horaire. Il est cependant peu flexible : un séchoir devra être prévu à l'achat en fonction de la plus haute humidité de récolte à traiter, sinon il travaillera à des paramètres de séchage différents de ceux prévus initialement (températures plus fortes, débits d'air augmentés) avec risques de baisse de qualité du riz.

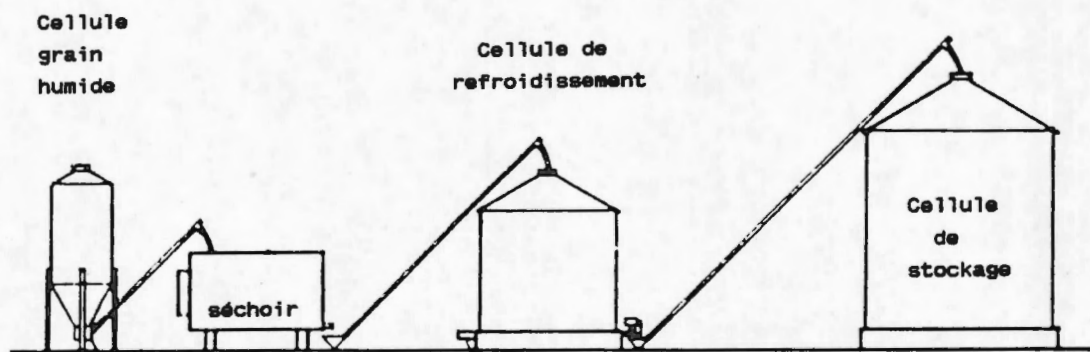
**3.2.3. Le séchage "combiné" (*combination drying*) (figure N°6)**

Cette technique est la combinaison de deux techniques abordées précédemment ; il comprend :

- un séchage rapide haute température en cellule ("*high temperature in-bin drying*") ou en continu, jusqu'à 17,5% à 22% .
- un séchage lent, de 2 jours à 2 mois en silo ("*natural air*" ou "*supplemental heat in-bin drying*")

On utilise ainsi des hautes températures lorsque le riz est très humide, puis des basses températures lorsqu'il est plus sec : On limite les surchauffes de surface du riz, et on gagne en taux de brisures (pas de chiffres avancés). On rapporte que, par rapport à un séchage continu classique (pour du maïs), l'augmentation de capacité horaire varie entre 30% et 60%, et l'économie en combustible entre 14,5% et 37% . Ces résultats peuvent donner un ordre d'idée quant à l'application au séchage du riz.

Ce système est très utilisé aux USA, en Californie particulièrement. Il est célèbre en séchage de maïs sous le nom de R.D.L.C. ("*dryeration*").



Installation de "dryération" (Amérique du Nord)

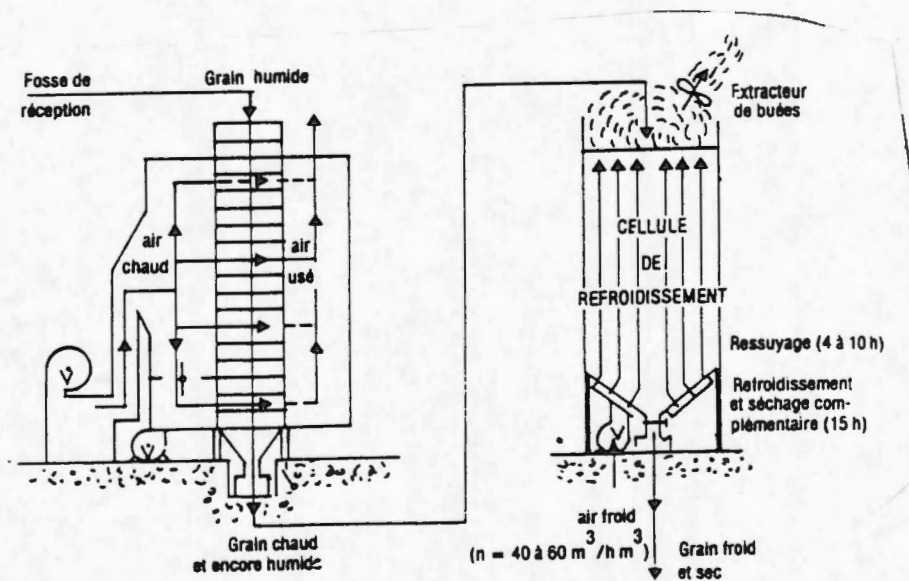


Figure n°6 : Schéma de principe du séchage par dryération

Il existe une variante de celui-ci, appelée séchage en silo et à contre-courant ("*in-store counterflow drying*") : Dans ce cas, on utilise :

- une cellule où l'on envoie de l'air chaud (40°C à 45°C) à contre-courant
- un silo équipé en ventilation séchante.

Le système est très flexible quant aux humidités de récolte : On charge au fur et à mesure la cellule de stockage ; la couche inférieure est retirée par des augets dès qu'elle atteint 16% à 19,5% d'humidité. Après un ressuage éventuel, elle est envoyée dans le silo de stockage où le séchage est lentement achevé. La cellule de séchage est rechargée par le haut avec du riz dont l'humidité initiale importe peu. On cite l'emploi de ce procédé essentiellement aux U.S.A., pour le riz mais aussi pour le maïs.

### 3.2.4 autres procédés de séchage.

Il existe, par ailleurs, d'autres procédés de séchage mais la plupart d'entre eux reste encore au stade expérimental.

- séchage en lit fluidisé (fort débits d'air requis)
- séchage au contact d'une phase solide
- séchage par ondes électromagnétiques (*Acoustic drying*) mais la consommation thermique spécifique est très élevée (10 à 20 fois supérieure au classique)
- séchage par micro ondes (*microwave drying*) mais le coût énergétique est élevé
- radiations infra-rouge (*infrared drying*)

### Conclusion :

L'étude bibliographique réalisé montre qu'il existe très peu de données précises concernant les différentes techniques de séchage utilisées dans les différents pays et qu'aucune d'entre elles n'a réellement fait l'objet d'un bilan complet. Les principaux paramètres du séchage varient considérablement. Les débits spécifiques en séchage continu vont de 1 500 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> à 9 000 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> de grains tandis que les températures d'attaque d'air chaud sont comprises entre 30°C et 90°C. Il semble cependant : se dégager un avantage pour le séchage en plusieurs temps ou le séchage partiel type RLD concernant les qualités technologiques des grains obtenus (réduction du taux de brisures notamment).



## IV - EVALUATION DES CONDITIONS DE SECHAGE DU RIZ EN CAMARGUE

### 4.1) GENERALITES

Une première approche du problème a été réalisée au cours de l'automne 1989 en étudiant le fonctionnement d'un séchoir à la coopérative Sud Céréales en Arles. Il s'est agit essentiellement de mesurer ou déterminer certaines grandeurs caractéristiques permettant d'apprécier la qualité du séchage. L'acquisition ou la mesure des données n'a pas toujours été aisée du fait de l'activité fébrile qui régnait au silo en cette période de l'année (récolte abondante et précoce en raison de la sécheresse).

### 4.2) L'INSTALLATION ETUDIEE

Le choix a porté sur l'installation de séchage la plus récente en fonctionnement à la coopérative. En septembre 1989, il s'agissait alors d'un séchoir OMNIUM dit "d'avant dernière génération" (\*). Ce matériel, de type continu "à persiennes", (Fig.n°3) est constitué de 3 caissons de séchage composés chacun de quatre colonnes de descente du grain, de 2 colonnes d'entrée d'air chaud et 3 colonnes de sortie d'air usé comme cela est représenté schématiquement en figure n° 7a. Chaque colonne d'air chaud est ici formée de la superposition de 19 modules ou étages équipés chacun d'un ventilateur centrifuge aspirant l'air de séchage dans une chambre d'air chaud unique commune aux trois caissons (figure 7b). Les deux premiers caissons, au bas de la colonne, sont utilisés pour le refroidissement. Le combustible brûlé pour le séchage est le gaz propane.

---

(\*) Le séchoir OMMIUM de "dernière génération" qui était en construction sur le site lors de l'essai sera étudié en septembre 1990.

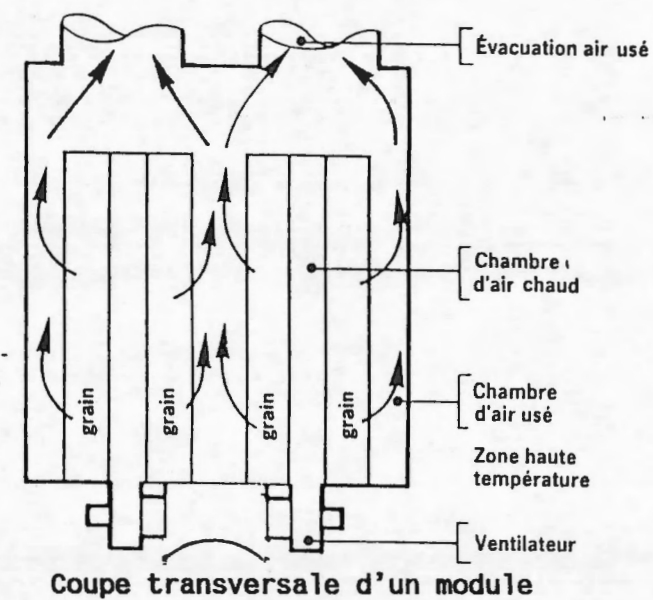
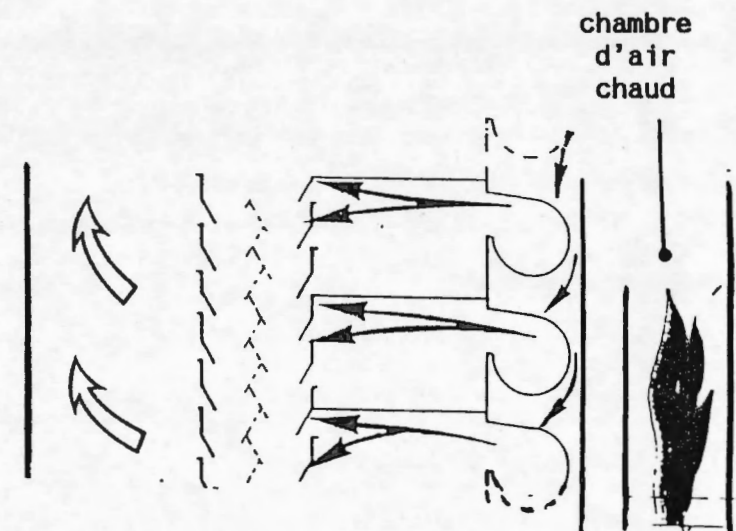
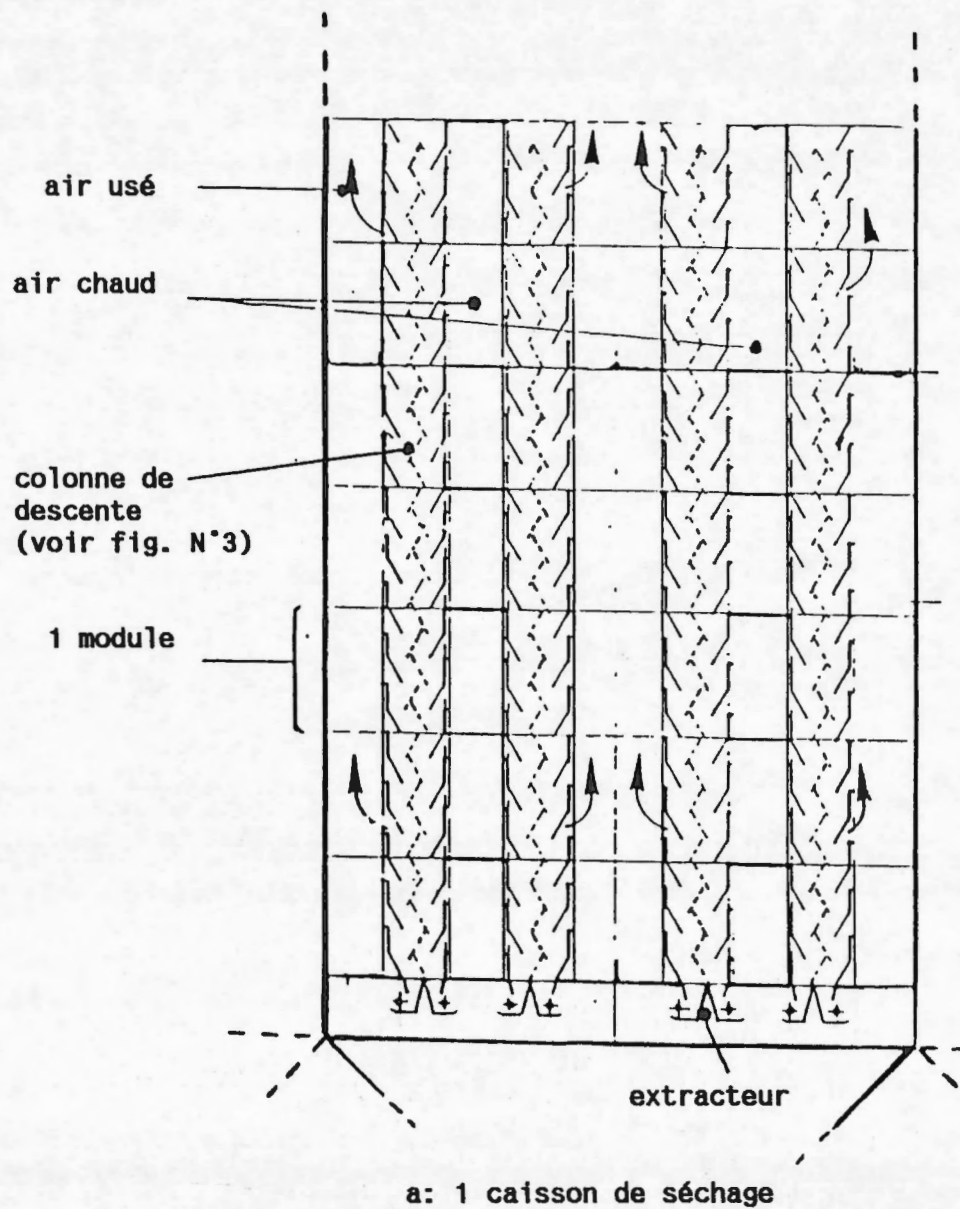


Figure N°7 : schéma du séchoir OMNIUM (d'après doc OMNIUM)

### 4.3) RESULTATS OBTENUS

#### 4.3.1 - Réalisation de l'essai :

L'essai de séchage s'est déroulé le 22 septembre 1989 de 8H35 à 19H00. Une prise d'échantillons de produit humide a été faite tous les quarts d'heure (figures n°9) sur le circuit d'alimentation amont du séchoir. Elle a également été réalisée sur la sortie grain sec à partir de 11 H 30. Par ailleurs, des mesures concernant les caractéristiques de l'air (air extérieur, air chaud et air usé) à l'entrée et à la sortie du séchoir ont été faites afin d'apprécier la qualité de répartition de l'air chaud dans la chambre de mise en pression et de calculer la consommation thermique spécifique à partir du diagramme de l'air humide (diagramme de Mollier).

#### 4.3.2 - Résultats obtenus

i) Au niveau du séchoir :

*\* Mesure des températures*

Une mesure des températures a été faite dans les étages 3 et 4 (en partant du bas du séchoir) au niveau des conduites d'arrivée d'air chaud ; ce qui représente six points de mesures par étage (figure n° 8).

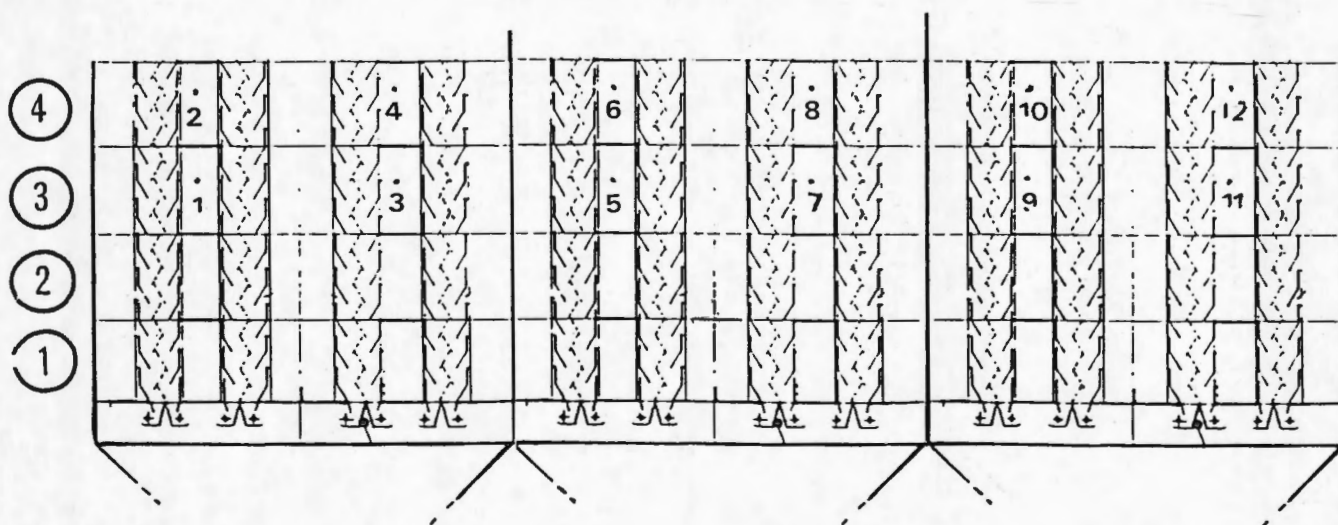


Fig. n°8: Répartition des points de mesures des températures d'entrée d'air chaud dans le séchoir.

Les résultats des mesures faites à deux périodes de temps différents (11 H 00 et 16 H 00) sont reportés dans le tableau ci-dessous.

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11h	27,8	29,4	28,5	28,5	30,4	30,8	30,3	32,2	29,1	31,0	35,8	37,7
16h	32,2	33,1	32,3	32,2	32,5	33,7	32,0	34,3	33,0	33,7	37,7	39,3

On note donc une hétérogénéité certaine des températures avec des variations pouvant atteindre 35 % ( entre les points 1 et 12 à 11h). On relève un écart quasi identique dans les étages du haut du séchoir où la température de l'air chaud varie de 47°C à 63°C alors que dans le même temps, l'indication de température en sortie de générateur qui est donnée sur le synoptique de commande du séchoir varie de 48°C à 52°C. Il semble donc difficile avec un tel séchoir de maîtriser et réguler correctement la température d'attaque du produit par l'air chaud.

*\* Mesure de la consommation thermique spécifique (CTS)*

C'est une grandeur qui permet de caractériser les performances énergétiques du séchoir . D'après la FFCAC, le calcul de ces performances s'établit comme suit:

Grandeurs mesurées:

Quantité de produit humide: 113 tonnes  
 Durée du séchage : 300 minutes (5H)  
 Température de l'air ambiant: 28°C  
 Pression atmosphérique: 101 750 Pa  
 Gaz propane  
 Consommation horaire: 34,48 m<sup>3</sup>  
 pression partielle de gaz: 32 000 Pa  
 Température du gaz: 18°C

Grandeurs connues:

PCI propane: 2190 Kcal/m<sup>3</sup>  
 Conditions ambiantes normalisées:  
 Température: 10°C  
 Pression atmosphérique: 101 325 Pa



Calcul:

La référence pour le calcul est la norme U31-601 :  
"Séchoirs continus à grains : détermination des performances"

. Quantité d'eau à évaporer  
5 points x 11,765 = 58,8 kg d'eau/tonne

. Pouvoir d'évaporation  
 $q_m = 113 \times 58,8 / 5 = 1\,328 \text{ kg/h}$

. Consommation Thermique Spécifique brute

La consommation en gaz corrigée selon la norme est:

$$V_o = 34,48 \times \frac{101\,750 + 32\,000}{101\,325} \times \frac{273,16}{273,16 + 18} = 42,69 \text{ m}^3/\text{h}$$

. L'énergie fournie par heure est de :

$$42,69 \times 21\,920 = 935\,765 \text{ Kcal (soit } 1\,088 \text{ Kwh)}$$

d'où une Consommation Thermique Spécifique brute de :

$$c_t = 935\,765 / 1\,328 = 704 \text{ kcal/kg d'eau évaporée}$$

ou encore 2 947 KJ/kg d'eau évaporée

Il est nécessaire de faire une correction pour tenir compte de la chaleur contenue dans l'air ambiant selon la norme.

La puissance thermique corrigée est donc :

$$\frac{1\,088\,000 \times (35-10 / 35-28) \times (273+28 / 273+10)}{(1\,013,25 / 1\,017,70)} = 4\,100\,012 \text{ watt}$$

et la Consommation Thermique Spécifique corrigée de :

$$2947 \times (4100012 / 1088000) \times (1328 / 1328) = 11105 \text{ KJ/kg}$$

d'eau évaporée

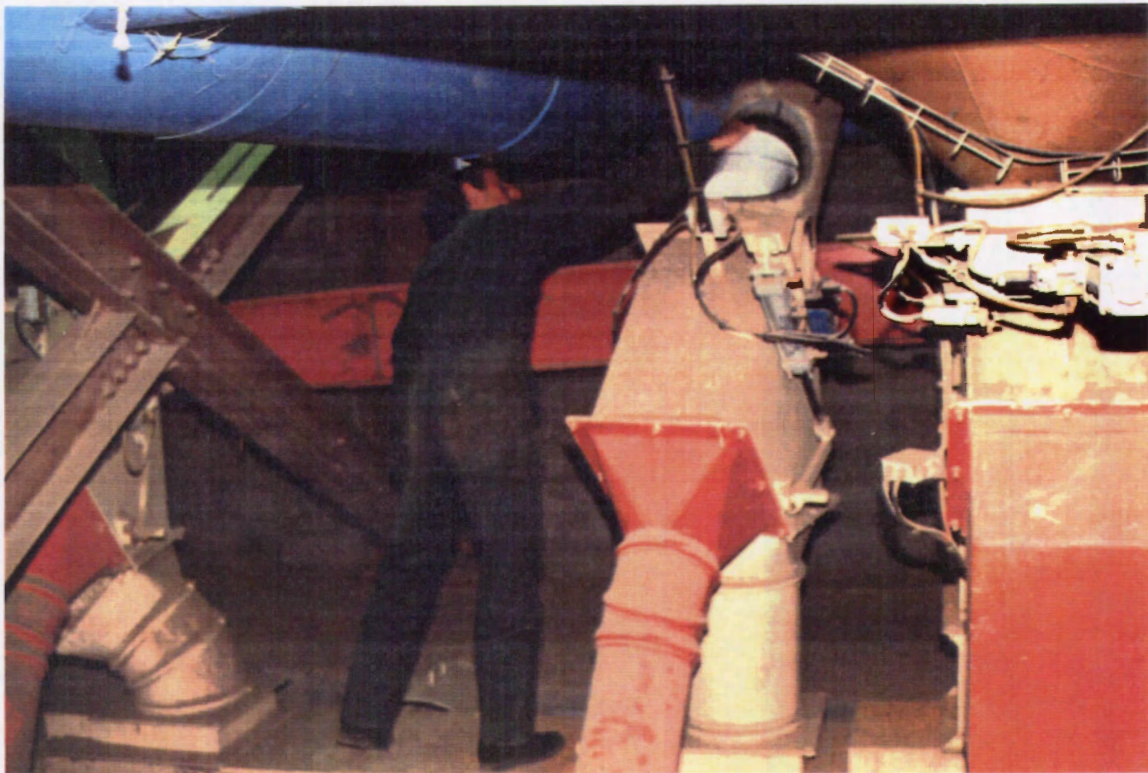
soit encore 2 657 kcal ou 3,1 kwh

#### Commentaires :

Cette valeur paraît excessive par rapport aux normes habituellement constatées (autour de 2 000 wh pour le séchage de céréales à paille à basse température).

*\* Mesure de l'énergie électrique absorbée.*

Avec un cosinus  $\varphi$  de 0,8 , l'énergie électrique absorbée est de 191 kwh



**Figure n°9: Prélèvement d'échantillons dans le circuit amont.**



**Figure n°10: Echantillons pour les mesures d'humidité et de qualité technologique.**



ii) Mesures réalisées sur le produit.

Des mesures d'humidités et de caractéristiques technologiques des grains ont été réalisées sur les différents échantillons prélevés tant à l'entrée qu'à la sortie du séchoir.

**\* mesures d'humidité :**

Les résultats des mesures d'humidité de produit sont les suivants :

	Entrée	Sortie
Teneur en eau moyenne (H)	19,80 %	14,70 %
Ecart type ( $\sigma$ )	0,63 %	0,53 %
Coefficient de variation	3,2 %	3,6 %

Le séchage a donc été en moyenne de 5,1%

**\* mesure des qualités technologiques**

Tous les échantillons prélevés avant séchage (série H) et après séchage (série S) ont été placés dans des sacs aérés pour être soumis à un séchage lent naturel au niveau du silo durant plusieurs mois (jusqu'à fin février) . Ils ont ensuite été analysés afin de déterminer leurs caractéristiques technologiques. Ces tests ont été réalisés d'une part au laboratoire de la coopérative Sud Céréales et d'autre part au laboratoire de technologie des céréales de l'IRAT à Montpellier.

Les résultats sont donnés en annexe . Les valeurs moyennes sont reportées dans le tableau suivant

	Labo. Sud Céréales	Laboratoire IRAT
Humidité	15,4 à 15,7 % mh	13,2 à 13,9 % ms
<b>Grains "humides" (H)</b>		
Rendement d'usinage	68,8 %	67,0 %
Taux de brisures	16,7 %	17,2 %
<b>Grains "secs" (S)</b>		
Rendement d'usinage	68,7 %	66,2 %
Taux de brisures	17,2 %	17,5 %

### Observations :

Dans les deux séries d'analyse, il ne semble pas que le rendement d'usinage du grain soit très modifié par le passage au séchoir. Le taux de brisures par contre reste toujours légèrement supérieur pour les grains qui ont subi le séchage artificiel. La différence apparaît cependant très faible pour considérer que le séchage réalisé dans les conditions de l'essai altère la qualité technologique des grains de paddy.

## V - PERSPECTIVES D'ACTION 1990

### 5.1. MATERIEL A TESTER EN 1990

Pour l'année 1990, l'action portera essentiellement sur la réalisation d'un essai "séchoir". Le matériel testé sera le séchoir OMNIUM de "dernière génération" monté à la coopérative en 1989. Par rapport au séchoir décrit précédemment, ce dernier modèle est plus simple car il ne comporte qu'un seul ventilateur par colonne (fig. n°11) et pas de tôle défectrice séparant les différents étages. On peut ainsi espérer une plus grande homogénéité de la température d'air chaud.

### 5.2. ESSAIS PREVUS

#### 5.2.1. Essais préliminaires

Une première série d'essais consistera à équiper les différents étages du séchoir de sondes thermométriques (sondes platines) comme cela est représenté en figure n°11 afin de vérifier l'homogénéité de la température d'attaque du grain par l'air chaud. Les différents points de mesures seront reliés à un système d'acquisition de données piloté par ordinateur. Un essai de contrôle de la régularité de descente du grain dans les colonnes sera réalisé conjointement.



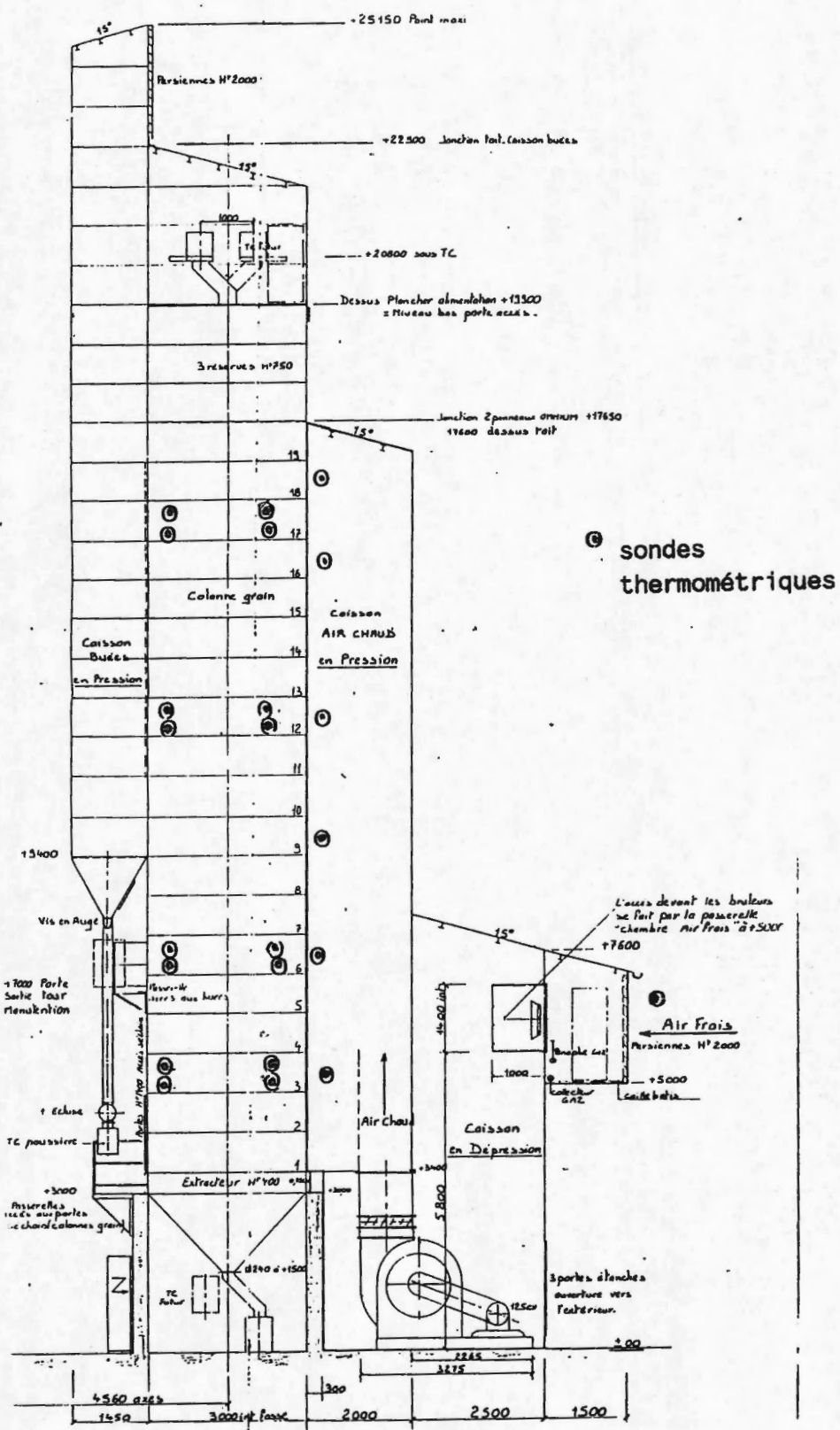


Figure n°11: Disposition des sondes dans la colonne d'air chaud

### 5.2.2. Essai du séchoir

Au cours de la première période de la récolte du riz (septembre 1990) , on procédera à un essai complet du séchoir OMNIUM.

#### i) Mesures à réaliser

##### 1 - mesure des températures

- air ambiant
- air chaud
- air usé

##### 2 - mesure de l'hygrométrie

- air ambiant
- air usé

##### 3 - mesure de la consommation d'énergie

- gaz
- électrique (énergie active , réactive)

##### 4 - mesure des pressions en différents points de la colonne

##### 5 - Contrôle du produit

- poids du lot à l'entrée
- poids du lot à la sortie du séchoir
- humidité du produit entrée
- humidité du produit sortie
- humidité du produit sur un plan vertical
- humidité du produit sur trois plans horizontaux
- température du grain à l'entrée
- température du grain à la sortie

##### 6 - Contrôle qualitatif

- rendement usinage
- taux de brisures

Le protocole détaillé de l'essai sera précisé ultérieurement.

## ii) Moyens nécessaires

D'après la FFCAC, les moyens nécessaires à la mise en oeuvre de l'essai sont :

### *\*. Avant l'essai (la veille ou l'avant-veille)*

. Stockage d'environ 200 t de riz dans un boisseau "Durand" , les poids et caractéristiques étant contrôlés avec précision.

. Si le grain est nettoyé avant d'être mis dans le boisseau , les impuretés enlevées de ce lot seront récupérées pour être pesées avec précision.

. Un représentant de la FFCAC sera présent pour le prélèvement des échantillons et la vérification des résultats de mesures.

### *\*. Lors de l'essai*

Une seule colonne sera chargée en grains (on évitera les colonnes extrêmes).

Le séchoir sera en fonctionnement depuis au moins 12 h , avec une marchandise dont les caractéristiques seront proches de la qualité du produit mis dans le boisseau Durand.

Les échantillons seront prélevés par du personnel de la coopérative (un stagiaire + un aide) et deux personnes du CEEMAT - Humidité faite par FFCAC.

Les mesures techniques : énergie électrique et gaz :

Les mesures des températures de l'air usé seront effectuées par deux personnes de la FFCAC qui aideront au prélèvement des échantillons lors des prélèvements sur plan vertical et horizontal. Cette opération sera effectuée en fin de cycle. Ils amèneront le matériel nécessaire.



Pour permettre le contrôle au poids sec, le grain sortant du séchoir sera envoyé dans un boisseau sur fosse et chargé sur un camion toutes les heures. Camion et chauffeur à fournir par la coopérative (durée de l'essai entre 18 et 24 h).

- La coopérative fournira le personnel nécessaire au fonctionnement normal du séchoir et des installations de manutention annexes.

- Les mesures d'analyse technologique seront effectuées par le laboratoire de la coopérative et une analyse sur cinq sera vérifiée par le CEEMAT.

Dépouillement et analyse des résultats : FFCAC et CEEMAT.



## ANNEXES

**Annexe 1 : Elements de la norme U 31-601**

Si le PCI est exprimé en kilojoules par litre, il est nécessaire de connaître la masse volumique,  $\rho$ , du combustible lors de l'analyse. La formule de conversion est égale à :

$$\text{PCI (kJ/kg)} = \frac{\text{PCI(kJ/l)}}{\rho \text{ (kg/l)}}$$

### 3.1.3 Combustibles solides

Comme pour les combustibles liquides, le PCI est exprimé en kilojoules par kilogramme et éventuellement en kilocalories par kilogramme. La mesure du PCI est déterminée selon la norme NF M 03-005.

### 3.2 Masse volumique et expression de la consommation de combustible

Lorsque les mesures de consommation de combustible sont de caractère volumique (liquide ou gaz), il est nécessaire d'évaluer périodiquement les caractéristiques physiques du combustible influant sur sa masse volumique (ou son volume massique).

#### 3.2.1 Combustibles à l'état gazeux

La consommation du combustible est relevée toutes les demi-heures. Mesurer et noter simultanément la **température** du gaz, à 0,2 °C près, à l'aide d'un thermomètre à mercure placé dans la conduite en amont des compteurs ou, à défaut, dans un manchon de laine de verre maintenu par du ruban adhésif, la **pression relative** du gaz, à 2 mbar près (200 Pa), à l'aide d'un manomètre placé dans la conduite (voir figure 1), et la **pression atmosphérique**, à 2 mbar près (200 Pa).

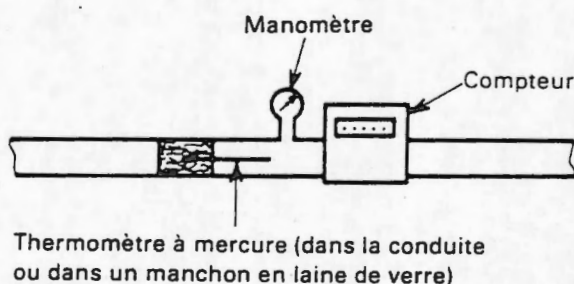


Figure 1

Le volume  $V_0$  du gaz exprimé en mètres cubes dans les conditions normalisées (101 325 Pa, 0 °C) consommé pendant la période séparant deux relevés successifs du compteur, est déterminé à partir du volume mesuré,  $V_c$ , par la formule de correction suivante :

$$V_0 = V_c \times \frac{p_A + p_g}{101\,325} \times \frac{273,16}{273,16 + \theta_g}$$

où :

$p_A$  est la pression atmosphérique, en pascals ;

$p_g$  est la pression relative du gaz, en pascals ;

$\theta_g$  est la température du gaz, en degrés Celsius.

Lorsque l'influence des variations de pression et de température autour des valeurs moyennes de ces grandeurs peut être considérée comme négligeable, la formule de correction pourra être appliquée au volume total  $V_c$  consommé pendant la totalité de l'essai ; dans ce cas  $p_A$ ,  $p_g$  et  $\theta_g$  seront respectivement les valeurs moyennes de la pression atmosphérique, de la pression relative du gaz, et de la température du gaz pendant l'essai.

#### 3.2.2 Combustibles liquides

Dans ce cas où pratiquement seules les variations de température influent sur la masse volumique du liquide, prendre la température du liquide toutes les demi-heures et déterminer la valeur moyenne,  $\theta_m$ , de cette température pendant la durée de l'essai. La mesure de la masse volumique,  $\rho_c$ , du combustible liquide sera effectuée à cette température  $\theta_m$ .

### 1.5 Puissance thermique

La puissance thermique,  $P_o$ , exprimée en watts, est donnée par la formule suivante :

$$\text{pour un combustible gazeux} \quad P_o = \frac{V_o}{3,6 \text{ t}} \times \text{PCI}$$

$$\text{pour un combustible solide ou liquide} \quad P_o = \frac{m_c}{3,6 \text{ t}} \times \text{PCI}$$

où :

$V_o$  est la consommation nette du combustible, en mètres cubes ;

$m_c$  est la consommation nette du combustible, en kilogrammes ;

PCI est le pouvoir calorifique inférieur en kilojoules par mètre cube pour un gaz, en kilojoules par kilogramme pour un liquide ou un solide ;

$t$  est la durée, en heures, de l'essai.

La puissance thermique pourra aussi être indiquée en kilocalories par heure ; dans ce cas multiplier le résultat en watts par 0,86.

### 1.6 Consommation thermique spécifique brute

La consommation thermique spécifique brute,  $C_t$ , exprimée en kilojoules par kilogramme d'eau évaporée, est donnée par la formule suivante :

$$C_t = \frac{3,6 P_o}{q_m}$$

où :

$P_o$  est la puissance thermique, en watts ;

$q_m$  est le pouvoir d'évaporation, en kilogrammes par heure.

On peut aussi l'exprimer en kilocalories par kilogramme d'eau évaporée. Dans ce cas :

$$C_t = \frac{0,86 P_o}{q_m}$$

### 1.7 Consommation observée de combustible par tonne de grain séché

Cette consommation est aussi appelée consommation thermique massique ( $C_{tm}$ ). Cette grandeur est liée à la consommation thermique spécifique brute calculée en 7.1.6. Pour l'utilisateur,  $C_{tm}$  est plus « parlante » que  $C_t$ , car on peut l'exprimer dans l'unité de facturation du combustible utilisé.  $C_{tm}$  est plutôt à considérer comme une grandeur économique, à partir de laquelle l'utilisateur pourra calculer sa dépense en combustible dans les conditions de séchage de l'essai, en particulier de teneur en eau du grain à l'entrée et à la sortie du séchoir.

#### 1.7.1 Cas du fioul domestique

Le fioul domestique (FOD) est facturé au litre.  $C_{tm}$  en litres par tonne, est donné par la formule :

$$C_{tm}(\text{FOD}) = \frac{1\,000 \times V_c}{m_s}$$

où :

$V_c$  est le volume de combustible consommé pendant l'essai, en litres ;

$m_s$  est la masse totale de grain séché à la sortie, en kilogrammes.



## 9 CONDITIONS AMBIANTES NORMALISÉES

Conditions ambiantes normalisées	Période de l'essai juillet-août	Période de l'essai octobre-novembre
Température ..... $\theta_n$	20 °C	10 °C
Humidité relative ..... $HR_n$	65 %	80 %
Pression atmosphérique ..... $p_n$	101 325 Pa	
Masse volumique de l'air humide .. $\rho_n$	1,197 kg/m <sup>3</sup>	1,243 kg/m <sup>3</sup>

## 10 CORRECTIONS

### 10.1 Détermination de la puissance thermique corrigée (pour un même débit volumétrique d'air ambiant introduit dans le séchoir)

La puissance thermique ramenée aux conditions ambiantes normalisées,  $P_n$ , exprimée en watts, est donnée par la formule :

$$P_n = P_o \times \frac{\theta_s - \theta_n}{\theta_s - \theta} \times \frac{273 + \theta}{273 + \theta_n} \times \frac{p_n}{p_A}$$

où :

$P_o$  est la puissance thermique, en watts, déterminée en 7.1.5 ;

$\theta_s$  est la température à laquelle il faudrait porter l'air ambiant, chauffé à teneur en eau constante, pour que son enthalpie soit égale à celle de l'air usé sortant du séchoir.

Dans le cas d'un séchoir où le chauffage ne porte que sur l'air ambiant et où il n'y a qu'une seule température de séchage, la température  $\theta_s$  à considérer est cette température de séchage ;

$\theta_n$  est la température normalisée de l'air atmosphérique, en degrés Celsius, (voir 9) ;

$\theta$  est la température de l'air ambiant, en degrés Celsius, (voir 4.4) ;

$p_n$  est la pression normalisée de l'air atmosphérique, en pascals, (voir 9) ;

$p_A$  est la pression atmosphérique ambiante, en pascals, (voir 4.4).

### 10.2 Détermination du pouvoir d'évaporation corrigé

On désigne par :

$\rho_n$  la masse volumique de l'air atmosphérique dans les conditions normalisées, en kilogrammes par mètre cube, (voir 9) ;

$\rho_a$  la masse volumique de l'air ambiant, en kilogrammes par mètre cube ;

$x_a$  la teneur en eau de l'air ambiant, en pourcentage en masse ;

$x_u$  la teneur en eau de l'air usé, en pourcentage en masse ;

$x_{an}$  la teneur en eau de l'air atmosphérique dans les conditions normalisées ;

$x_{un}$  la teneur en eau qu'aurait l'air usé, à même degré hygrométrique, si l'air ambiant avait été dans les conditions normalisées (voir figure 2, ci-après) ;

$q_m$  le pouvoir d'évaporation, en kilogrammes par heure, déterminé en 7.1.3.

— L'humidité relative moyenne HR de l'air usé est supérieure à 70 % et inférieure à 80 %.

Le pouvoir d'évaporation corrigé, en kilogrammes par heure, est donné par la formule :

$$q_n = q_m \times \left( \frac{x_{un} - x_{an}}{x_u - x_a} \right)^{\frac{HR - 70}{10}} \times \left( \frac{\rho_n}{\rho_a} \right)^{\frac{HR - 60}{20}}$$

### 10.3 Détermination de la consommation thermique spécifique corrigée

La consommation thermique spécifique corrigée,  $C_n$ , en kilojoules par kilogramme, est donnée par la formule :

$$C_n = C_t \times \frac{P_n}{P_o} \times \frac{q_m}{q_n}$$

où :

$C_t$  est la consommation thermique spécifique brute, en kilojoules par kilogramme, déterminée en 7.1.6 ;

$P_n$  est la puissance thermique corrigée, en watts, (voir 10.1) ;

$P_o$  est la puissance thermique, en watts, (voir 7.1.5) ;

$q_n$  est le pouvoir d'évaporation corrigé, en kilogrammes par heure, (voir 10.2) ;

$q_m$  est le pouvoir d'évaporation, en kilogrammes par heure, (voir 7.1.3).

### 10.4 Détermination du débit massique corrigé du grain à la sortie

Dans leurs spécifications techniques, certains constructeurs indiquent le débit massique du grain à la sortie du séchoir ( $q_s$ ), plutôt que le pouvoir d'évaporation ( $q_m$ ).  $q_s$  est donné, au moyen de tableaux ou d'abaques, pour une teneur en eau variable du grain à l'entrée du séchoir ( $H_e$ ) et une teneur en eau constante du grain à la sortie du séchoir ( $H_s$ ). Dans le cas du maïs, la valeur  $H_s = 15$  % est prise comme référence.

Lors du contrôle, il est possible que  $H_s$  ne soit pas rigoureusement égal à 15 %. Dans la mesure où l'écart moyen observé sur la durée de l'essai est inférieur à  $\pm 1$  % de teneur en eau, c'est-à-dire lorsque  $H_s$  est compris entre 14 % et 16 %,  $q_s$  peut être corrigé de façon inversement proportionnelle à la quantité d'eau évaporée.

Le débit massique corrigé du grain à la sortie du séchoir,  $q_{sc}$ , appelé également « capacité de production du séchoir », exprimé en kilogrammes par heure, pour une teneur en eau finale de 15 %, est donné par la formule :

$$q_{sc(15\%)} = q_s \frac{H_e - H_s}{H_e - 15}$$

où :

$q_s$  est le débit massique du grain à la sortie, en kilogrammes par heure, (voir 7.1.1) ;

$H_e$  est la teneur en eau du grain à l'entrée, en pourcentage en masse, (voir 5.3) ;

$H_s$  est la teneur en eau du grain à la sortie, en pourcentage en masse, (voir 5.3).

## SECTION TROIS : PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

### 11 PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

Un tableau récapitulatif des caractéristiques à indiquer lors d'un essai de séchoir, est donné en annexe B.

Le procès-verbal d'essai doit indiquer tout ce qui est nécessaire pour pouvoir apprécier les résultats des mesures. Il doit, en outre, mentionner tous les détails opératoires non prévus dans la présente norme ou facultatifs, ainsi que les incidents éventuels susceptibles d'avoir agi sur les résultats.



**Annexe 2: Analyse des échantillons de paddy**  
**Caractéristiques technologiques**

**RESULTATS D'ANALYSES TECHNOLOGIQUES**  
**ECHANTILLONS DE RIZ SECHES A SAINT GILLES**  
**ET STABILISES AU LABORATOIRE CIRAD/IRAT**

Humidité des grains : 13.2 % à 13.9 % m.s.

Blanchiment: 2 mn 15 sec.

2 répétitions sur 50 g de paddy.

	Rendement cargo/paddy	Rendement usinage blanchi/paddy	Pourcentage brisures/Blanchi total
H <sub>1</sub>	80.4	66.0	12.6
H <sub>5</sub>	80.8	65.7	14.4
H <sub>9</sub>	79.9	66.2	18.1
H <sub>12</sub>	80.3	66.6	20.0
H <sub>16</sub>	82.5	68.6	16.5
H <sub>20</sub>	82.0	68.1	18.6
H <sub>24</sub>	81.1	66.9	17.0
H <sub>28</sub>	81.0	66.2	17.7
H <sub>32</sub>	81.4	68.8	20.0
Moyenne	80.9	67.0	17.2
Médiane	-	66.6	17.7
S <sub>2</sub>	80.4	65.4	15.9
S <sub>5</sub>	80.0	65.5	17.2
S <sub>9</sub>	80.4	65.9	17.0
S <sub>13</sub>	82.2	67.5	16.3
S <sub>17</sub>	82.1	66.9	16.3
S <sub>21</sub>	80.5	64.4	23.9
S <sub>21M</sub>	81.9	66.4	19.6
S <sub>25</sub>	81.4	66.2	16.2
S <sub>25M</sub>	81.4	66.3	16.5
S <sub>29</sub>	82.3	67.4	17.6
S <sub>29M</sub>	82.5	67.0	14.8
S <sub>31</sub>	82.4	66.8	17.7
S <sub>31M</sub>	80.1	65.0	17.8
Moyenne	81.35	66.2	17.5
Médiane	-	66.3	17



	H20	H1	GL	EN
S1	15.5	2.8	68.0	57.0
S2	15.1	3.2	70.0	58.0
S3	15.0	3.0	70.0	59.0
S4	15.5	3.4	69.5	57.5
S5	15.7	3.2	69.0	58.0
S6	15.3	2.2	70.0	59.5
S7	15.4	2.0	69.5	59.0
S8	15.2	3.2	69.0	57.0
S9	16.0	2.4	68.5	57.0
S10	15.7	2.6	69.0	57.5
S11	14.8	3.6	69.0	58.0
S12	15.5	2.4	69.5	58.5
S13	15.2	2.0	68.0	57.0
S14	15.8	2.6	68.0	56.5
S15	17.0	3.2	70.0	58.5
S16	15.3	3.2	69.5	58.0
S17	15.0	2.4	68.0	58.0
S18	15.3	2.8	68.0	57.0
S19	14.5	2.4	68.5	57.0
S20	15.6	1.6	68.0	55.0
S21	14.9	2.0	68.5	54.5
S22	15.0	2.0	68.5	56.0
S23	14.1	2.4	69.0	56.0
S24	15.0	2.4	69.0	57.0
S25	15.5	3.6	68.0	56.0
S26	15.4	2.4	68.6	59.0
S27	15.3	2.4	69.5	58.5
S28	15.3	2.4	70.0	58.0
S29	15.7	3.6	68.0	56.5
S30	15.6	2.8	69.0	58.0
S31	16.1	2.0	68.5	57.0
S27 H	15.2	2.0	68.0	56.0
S19 H	15.0	2.8	68.0	56.5
S21 H	15.0	2.0	67.0	55.0
S23 H	15.1	1.6	69.5	56.0
S25 H	16.0	2.8	69.0	56.0
S29 H	15.5	2.0	68.0	56.0

H 1	15.6	2.4	69.0	59.0
H 2	14.5	2.4	68.0	57.5
H 3	15.2	3.2	68.5	57.5
H 4	15.5	4.0	69.0	54.0
H 5	15.5	3.6	67.0	53.0
H 6	15.5	2.4	67.5	55.5
H 7	15.8	2.4	70.0	58.5
H 8	15.6	2.4	70.0	58.0
H 9	15.7	2.0	68.0	57.0
H 10	15.4	2.0	70.5	57.5
H 11	15.3	1.8	68.0	55.0
H 12	15.2	3.2	68.0	56.0
H 13	15.9	2.4	69.5	59.0
H 14	14.8	1.6	68.5	55.0
H 15	15.8	2.0	68.0	54.5
H 16	15.4	1.2	69.0	57.5
H 17	16.0	1.0	69.0	58.0
H 18	15.7	1.4	70.5	60.5
H 19	15.5	1.2	69.0	57.5
H 20	15.6	2.0	70.5	61.5
H 21	15.5	1.6	69.0	57.0
H 22	15.2	1.6	68.5	55.5
H 23	15.8	1.0	69.5	60.0
H 24	15.1	1.2	71.0	62.0
H 25	15.5	0.8	69.5	59.0
H 26	14.6	1.2	67.0	56.0
H 27	15.2	1.2	69.0	59.5
H 28	15.5	1.2	68.0	57.5
H 29	15.7	3.6	68.5	58.5
H 30	15.2	2.8	68.5	57.0
H 31	15.2	0.5	69.0	58.5
H 32	15.0	1.2	68.5	55.0
H 33	15.5	0.8	69.0	56.5
H 34	15.2	2.0	68.0	54.5

Four H's are  
S.D. equals